



TITLE:

画像相関法を用いたひずみ解析による木材切削機構の解明(Abstract_要旨)

AUTHOR(S):

松田, 陽介

CITATION:

松田, 陽介. 画像相関法を用いたひずみ解析による木材切削機構の解明.
京都大学, 2019, 博士(農学)

ISSUE DATE:

2019-03-25

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.k21825>

RIGHT:

許諾条件により本文は2020-01-01に公開

(続紙 1)

京都大学	博士（農学）	氏名	松田陽介
論文題目	画像相関法を用いたひずみ解析による木材切削機構の解明		
<p>（論文内容の要旨）</p> <p>木質資源は、切削（製材や木工）や乾燥、接着などの工程を経て、建築や家具、紙、エネルギーなどの形態で我々の生活に利用されている。これらの工程の中でも切削は、材料の分割・整形、さらに表面の仕上げを行なう基本的な加工である。木材の材質の特徴として脆性、異方性、不均質性、多孔性が挙げられ、これらが原因となって、木材はプラスチックや金属と比較して切削の制御が難しい。</p> <p>切削工具が木材に進入すると、切削力に対抗して切れ刃周辺にひずみが発生し、これが木材の強度に対応する閾（しきい）値を越えると破壊が生じ、切屑が生じ、仕上面が現れる。このように、切屑や仕上面の生成には切れ刃近傍のひずみが直接的に関与しており、ひずみに対する切削条件の影響の解明は、最適な切削条件を得るための基礎的知見といえる。本論文は、木材切削における切屑と仕上面の生成をひずみ分布の観点から説明することを目的とし、気乾ヒノキ材の二次元縦切削を対象に、切れ刃近傍のひずみ分布とその時間変化を画像相関法によって測定し、切削角や切込量、繊維傾斜角などの切削条件の関係について検討した。</p> <p>第一章では、関連する文献を総括した。1970年代から格子法や光弾性被膜法を用いた木材切削時の応力やひずみの測定が行われはじめたが、これらの手法では前処理が必須であり、精度上の課題が大きい。1980年代になると、試験体の変形前後でデジタル画像を取得し、それらを比較してひずみを計算する画像相関法と呼ばれる手法が確立され、同手法が木材の破壊に関する研究などで幅広く適用されてきたが、木材切削への適用例は1ほとんどないことが明らかになった。</p> <p>第二章では、切削角を30°–80°、切込量を0.05–0.3 mmとして、切削速度5 mm/sで気乾ヒノキ材のまさ目面の二次元縦切削を行い、画像相関法によって切れ刃近傍（0.5 mm以内）の主分力方向（繊維方向）のひずみ、背分力方向（接線方向）のひずみ、せん断ひずみを主・背分力方向に0.04 mm間隔で測定し、切削角や切込量の関係について検討した。主分力方向のひずみについて、ヒノキの繊維方向の弾性係数が接線方向と比べて大きいために、すべての条件において背分力方向のひずみほどひずみは顕著には現れなかった。一方、背分力方向のひずみについて、切削角が60°以下のとき、先割れの原因となる引張ひずみが刃先前方で検出され、その範囲は切込量の増加とともに拡大し、切削角40°かつ切込量0.3 mmで最大となった。このとき、+5%以上の引張ひずみは切れ刃から0.3 mm前方にまで及んだ。切削角が70°以上になると、背分力方向の圧縮ひずみが切れ刃下方で検出された。せん断ひずみについては、切削角に依存して切屑になる部分のせん断ひずみの向きが変化し、生成する切屑の長さや厚さに影響することを示した。さらに画像相関法の測定精度について検証し、本研究の手法で、0.08%から20%の範囲のひずみを誤差率±2%以内、変動係数約17%の精度で測定可能であることを示した。</p> <p>第三章では、第二章で母材側に顕著なひずみが発生した条件について、ひずみの時間変化を追跡し、仕上面表層にどの程度残留するか調べた。切削角が60°以下のとき検出された背分力方向の引張ひずみは切削後ただちに回復した一方で、切削角70°以上のとき検出された背分力方向の圧縮ひずみは切削後も残留した。圧縮ひずみが残留した条件では、仕上面から0.05 mm以内の細胞が接線方向に圧潰していることがX線</p>			

コンピュータ断層撮影により確認できた。切削時に母材側で発生した過大なひずみは切削後も残留し、仕上面の性状に影響を及ぼすことを示した。

第四章では、逆目ぼれの発生との関連が深い繊維傾斜角に注目し、これが切れ刃近傍のひずみ分布に及ぼす影響について検討した。繊維傾斜角に依存して切れ刃近傍のひずみ分布が特徴的に変化することが認められ、逆目切削よりも順目切削の方が切れ刃近傍のひずみの発生範囲が限定的であった。繊維傾斜角と切れ刃近傍のひずみ分布の関係、さらにこれに対する切削角や切込量の影響が明らかになった。さらに切削条件を調整することによって、逆目切削においてもひずみの発生を制御し、逆目ぼれの発生を抑制しうることを示した。

第五章では、木材に比べて稠（ちゅう）密、延性、均質性、等方性とみなせる塩化ビニル材切削時と木材切削時のひずみ分布を比較し、木材切削現象の特徴を整理した。塩化ビニルでは、切屑になる部分がせん断破壊によって切屑として分離されるのに対して、繊維方向に比べて繊維直交方向の強度の低い木材では、繊維直交方向の引張によって発生する先割れが優先的に作用して切屑が分離することを確認した。つまり、切削角が 60° 以下の縦切削では、切削工具が木材に進入すると、刃先前方の領域で背分力方向の引張ひずみが発生し、これが被削材の強度に対応する閾値を越えると、横引張による先割れが細胞間層に沿って生じ、切屑が分離する。切削角が上述の範囲よりも大きくなると、先割れに対応する背分力方向の引張ひずみは小さくなりその範囲も限定的になるが、切屑になる部分でせん断ひずみが顕著に発生し、先割れよりもせん断破壊が優先され、塩化ビニルと同様切屑になる部分がせん断破壊によって切屑として分離される。

このように、本論文では木材切削における刃先近傍での破壊によって生成する切屑や仕上面と切削条件との関係を、ひずみ分布から定性的・定量的に解析できた。

注) 論文内容の要旨と論文審査の結果の要旨は1頁を38字×36行で作成し、合わせて、3,000字を標準とすること。

論文内容の要旨を英語で記入する場合は、400～1,100 wordsで作成し
審査結果の要旨は日本語500～2,000字程度で作成すること。

(続紙 2)

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、木材切削機構の解明を目的として、木材切削における切れ刃近傍のひずみ分布と、その時間変化を画像相関法によって測定し、切削角、切込量、繊維傾斜角を因子として、刃先付近のひずみと破壊、生成する切屑や仕上面との関係を整理し、木材切削機構の一端を明らかにした。評価すべき点は以下の通りである。

1. 画像相関法を用いて、木材切削における切れ刃近傍の微小領域(0.5 mm以内)のひずみを高分解能(0.04 mm間隔)で測定し、切込量や切削角、繊維傾斜角が及ぼす影響を明らかにした。その中で、ひずみの発生範囲が切れ刃近傍で限定的となる条件の存在が確認された。そのような条件では、被削材に過大な破壊ひずみを発生させずに効率的に切削が行えるといえる。このことは、本研究で用いた手法により木材切削の最適条件の探索ができることを示すものである。
2. 発生したひずみの時間変化を追うとともに、X線コンピュータ断層撮影を併用することで、切削条件に依存して母材側に顕著な背分力方向の圧縮ひずみが残留し、その仕上面表層に微小な圧潰部分が存在しうることを示した。このことは、切削時に撮影した画像を分析することで、仕上面の変形や破壊の形態を評価できることを示すものである。
3. 画像相関法によるひずみ測定の精度や限界を明らかにした。本研究で用いた画像相関法は、0.08%から20%の範囲のひずみを誤差率 $\pm 2\%$ 以内、変動係数17%で測定できることを示した。ヒノキの繊維方向の弾性係数が繊維直交方向と比べて大きいために、主分力方向のひずみの検出が困難であったように、木材のように異方性のある材料に同手法を適用する際に注意すべき点も明らかとした。

以上のように、本論文は、木材切削における切れ刃近傍のひずみ分布とその時間変化を画像相関法によって測定することに成功し、切れ刃近傍の微小領域におけるひずみの高分解能分析に画像相関法が有効であることを示し、同手法によって木材の被削性を評価し、木材切削の制御条件を見出せることを示した。これらの知見は、切削加工の高度化や木質製品の高品質化に資するものであり、林産加工学、農業システム工学、生物材料工学の発展に寄与するところが多い。

よって、本論文は博士(農学)の学位論文として価値あるものと認める。

なお、平成31年2月14日、論文並びにそれに関連した分野にわたり試問した結果、博士(農学)の学位を授与される学力が十分あるものと認めた。

注) 論文内容の要旨、審査の結果の要旨及び学位論文は、本学学術情報リポジトリに掲載し、公表とする。

ただし、特許申請、雑誌掲載等の関係により、要旨を学位授与後即日公表することに支障がある場合は、以下に公表可能とする日付を記入すること。

要旨公開可能日： 年 月 日以降(学位授与日から3ヶ月以内)